

СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТ ПРИ ТОЛСТОЛИСТОВОЙ ПРОКАТКЕ ЗА СЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ СКОРОСТНЫХ РЕЖИМОВ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Черная металлургия является наиболее крупным потребителем топливно-энергетических ресурсов. Прокатный передел по степени энергоемкости занимает второе место после доменного. В условиях подорожания энергоносителей проблема энергосбережения становится еще более актуальной.

В результате анализа литературы [1] выявлен ряд способов экономии энергии при производстве толстых листов. Большинство способов для своей реализации требует значительных капитальных затрат или наличия специального оборудования, что ограничивает возможности их реализации. Вопросы о влиянии скоростных режимов прокатки на энергозатраты в литературе освещены слабо, поэтому требуют отдельного рассмотрения.

Скоростные диаграммы прокатки применяемые на толстолистовых станах (рис. 1) могут быть треугольного типа (а и б) и трапецидального (в и г). Первые применяются при прокатке раскатов небольшой длины. По мере увеличения длины раската скорость в каждом следующем проходе увеличивается и достигает максимальной скорости двигателя. После чего возникает необходимость прокатки раската по трапецидальной диаграмме.

Скоростная диаграмма прокатки (рис. 2) состоит: из разгона двигателей до оборотов захвата металла валками (участок 1); после захвата металла идет прокатка с ускорением валков сначала до номинальной, а затем до максимальной скорости в проходе (участок 3). После достижения максимальной скорости идет прокатка на максимальной скорости при постоянных оборотах двигателей (участок 4) или снижение оборотов главных двигателей (участок 5 или 8, 9).

Выброс металла из валков производится на пониженных оборотах, после чего следует остановка двигателей (участки 6, 7 или 10). Для снижения динамического удара в главной линии клетки и повышения надежности захват всегда производится на оборотах меньше номинальных, а выброс (для соблюдения тройного условия Тягунова) может быть, как выше так и ниже номинальных оборотов — поэтому и получились варианты составляющих скоростной диаграммы прокатки.

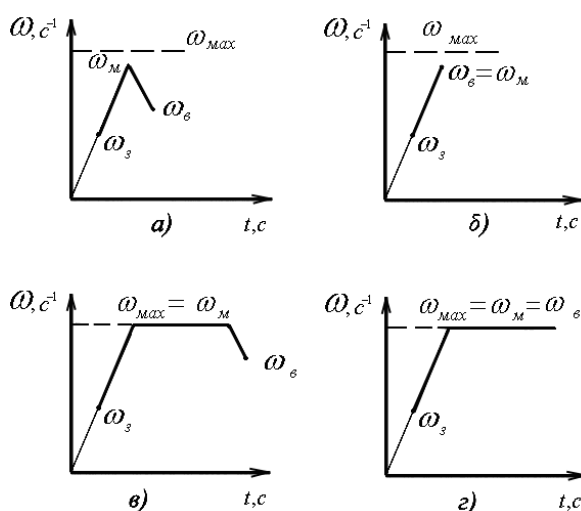


Рисунок 1 — Скоростные диаграммы прокатки на реверсивных прокатных станах

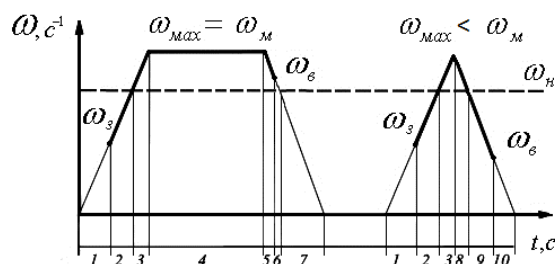


Рисунок 2 — Временные составляющие скоростных диаграмм прокатки:
 при $\omega_{max} = \omega_n$, $\omega_B > \omega_n$ — слева; $\omega_{max} < \omega_n$, $\omega_B < \omega_n$ — справа

Разгон двигателей до оборотов захвата выполняется без металла в валках при минимальном моменте на валу главных двигателей M_p ; после захвата металла идет прокатка с ускорением валков во время которой приходится преодолевать силы инерции главной линии стана и раската, который находится в валках — при этом момент на валу главных двигателей максимальный — M_y .

При прокатке по трапецеидальной диаграмме после достижения максимальной скорости идет прокатка на максимальной скорости при постоянных оборотах двигателей когда не нужно преодолевать силы инерции и расходовать дополнительную энергию, а только преодолевать сопротивление деформации металла и силы трения в очаге деформации и главной линии стана — поэтому момент на валу главных двигателей не максимальный M_n .

После достижения максимальной скорости идет снижение оборотов главных двигателей, когда силы инерции главной линии клетки помогают преодолевать сопротивление деформации металла и силы трения в очаге деформации — поэтому момент на валу главных двигателей минимальный — M_3 .

После выброса металла из валков идет дальнейшее снижение оборотов главных двигателей, когда силы инерции главной линии клетки превышают момент холостого хода — поэтому момент на валу главных двигателей отрицательный — M_0 .

Регулирование скорости двигателя от 0 до номинальной скорости ведётся при постоянном значении тока якоря путём повышения напряжения на обмотке статора. В этих условиях развиваемый двигателем момент $M = const$, а мощность двигателя пропорциональна числу оборотов. При дальнейшем увеличении оборотов от ω_n до ω_{max} мощность двигателя остается постоянной, а момент уменьшается пропорционально увеличению числа оборотов.

Определить расходы энергии на участках скоростной диаграммы прокатки можно с учетом моментов на участках скоростной диаграммы прокатки, средней угловой скорости на участках и длительности участка [2]:

$$W_i = \frac{M_{дв} \cdot \omega_i^2}{K \cdot 3600} t_i \text{ [кВт]},$$

где $M_{дв}$ — моменты на участках скоростной диаграммы прокатки, МН·м; ω_i — средняя угловая скорость на участках скоростной диаграммы, c^{-1} ; t_i — длительность участка скоростной диаграммы прокатки, с; K — переводной коэффициент, $K = 1000$.

Как видно из приведенной зависимости затраты энергии пропорциональны времени и квадрату угловой скорости, поэтому есть возможность при уменьшении угловой скорости и увеличении времени достичь экономии энергозатрат при прокатке.

С учетом вышеизложенного предлагается уменьшение энергозатрат получить за счет снижения максимальных оборотов двигателя в каждом проходе при сохранении оборотов выброса и захвата (при выполнении тройного условия Тягунова В. А.). Максимальная скорость в каждом проходе может быть ограничена номинальной угловой скоростью двигателя. Прокатка будет производиться по трапецеидальной диаграмме, что несколько увеличит вре-

мя прокатки (по существующей технологии прокатка в черновой и чистовой клетях происходит по треугольным диаграммам). Действие максимального крутящего момента при прокатке раскатов, а следовательно, и затраты энергии на прокатку, будут иметь место на участке ускорения от захвата до максимальной угловой скорости непродолжительное время. Продолжительным будет действие момента при прокатке на постоянной номинальной скорости, где величина момента существенно меньше.

Для определения эффективности предложенных мероприятий с использованием разработанной на кафедре ОМДиМ специализированной компьютерной программы (модели) проектирования технологического процесса прокатки [3, 4] в среде Microsoft Excel на примере прокатки толстолистовой стали 16×1600×6000 мм в условиях стана 3000 проведены сравнительные расчеты существующей технологии прокатки и энергосберегающей (с пониженными скоростями прокатки). Для этого по энергосберегающей технологии максимальные обороты в проходе были ограничены номинальными оборотами.

Расчеты энергозатрат, выполненные с применением ЭВМ, показали снижение на 10 кВт/ч на тонну проката или 16,6 %. При этом цикл прокатки листа 16×1600×6000 мм увеличился на 7 с. или 18 % по сравнению с существующей технологией.

Выполнено конечно-элементное моделирование процесса прокатки в условиях ТЛС 3000 в интерпретации программного комплекса Deform [5]: для исследования влияния скоростных диаграмм прокатки (треугольной и трапецеидальной) вращение валков было задано в виде функции (рис. 3).

Получены распределения силы (рис. 4) и момента прокатки и затраченной энергии (рис. 5) во время прохода. Расчет суммарной величины затраченной энергии в проходе и за весь цикл прокатки проводили численным интегрированием методом трапеций [6]. Экономия энергии при изменении скоростного режима прокатки за один проход составила: 0,57 кВт/ч. За 14 проходов экономия составит порядка 8 кВт/ч, что согласуется с результатом, полученным по аналитическим зависимостям.

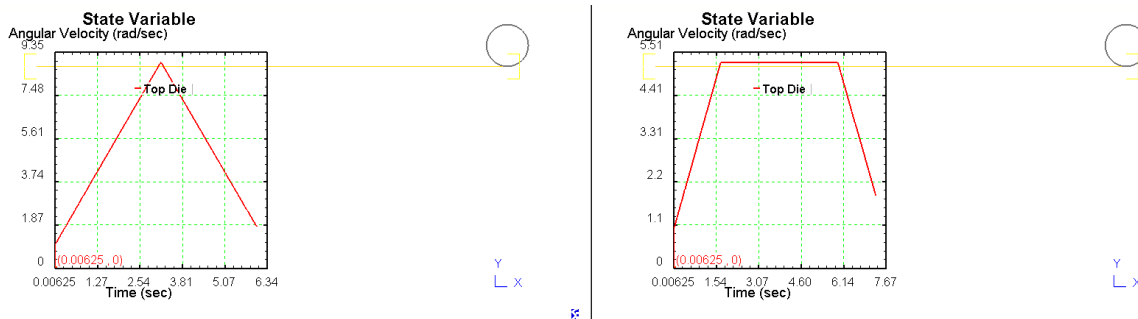


Рисунок 3 — Угловая скорость вращения вала в функции от времени (слева — существующая технология, справа — энергосберегающая)

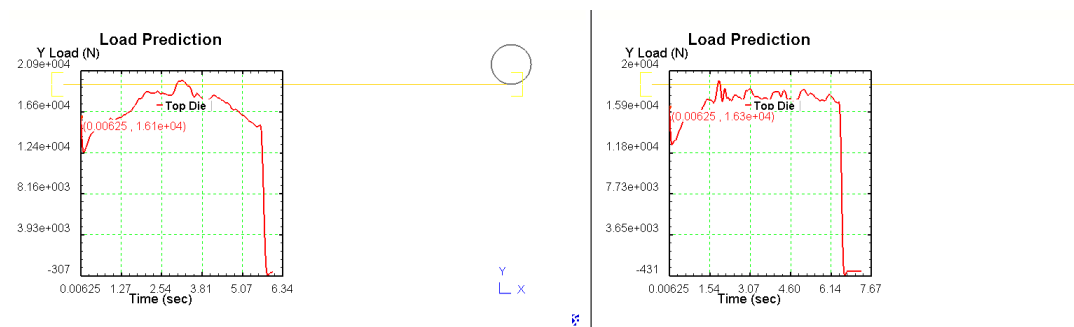


Рисунок 4 — Распределение силы прокатки (слева — существующая технология, справа — энергосберегающая)

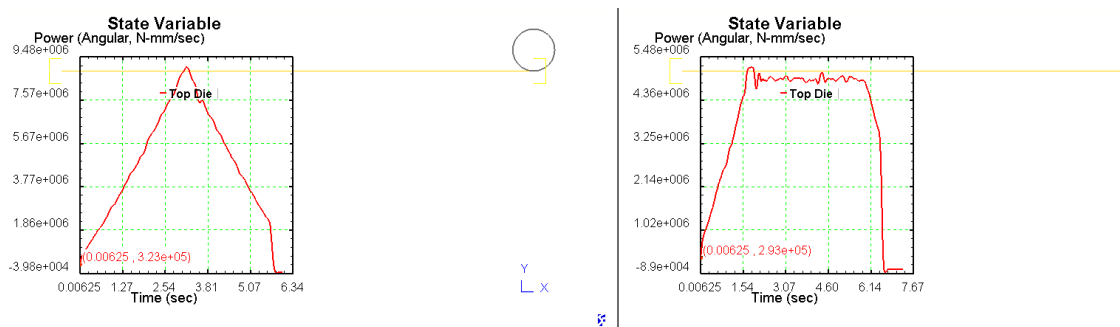


Рисунок 5 — Распределение затраченной энергии (Н·мм/с) в функции времени (слева — существующая технология, справа — энергосберегающая)

Таким образом, результаты расчета, выполненного с использованием программного комплекса Deform подтверждают возможность энергосбережения при изменении скоростного режима прокатки, а именно снижения максимальных оборотов двигателя при сохранении оборотов выброса и захвата (замены треугольной диаграммы прокатки на трапецидальную).

Список литературы

1. Скляр, В. О. Инновационные и ресурсосберегающие технологии в металлургии : учебное пособие / В. О. Скляр. — Донецк : ДонНТУ, 2014. — 224 с.
2. Зеленов, А. Б. Теория электропривода : учебное пособие / А. Б. Зеленов. — Алчевск : ДонГТУ, 2005. — Т. 2. — 513 с.
3. Денищенко, П. Н. Анализ влияния динамических характеристик главных приводов рабочих клеток толстолистного стана 3000 на энергосбережение при прокатке / П. Н. Денищенко, Н. П. Денищенко, А. А. Бевз // Научный форум: технические и физико-математические науки : сб. статей VIII международной научно-практической конференции. — М. : МЦНО, 2017. — № 7 (8). — С. 6–65.
4. Денищенко, П. Н. Программное и компьютерное обеспечение процессов ОМД : учебное пособие / П. Н. Денищенко, Н. П. Денищенко. — Алчевск : ДонГТИ, 2022. — 170 с.
5. Таупек, И. М. Общее руководство по работе с инженерным программным комплексом DEFORM : учебное пособие / И. М. Таупек. — Старый Оскол : Кириллица, 2015. — 217 с.
6. Турчак, Л. И. Основы численных методов : учебное пособие для студентов вузов / Л. И. Турчак, П. В. Плотников. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Физматлит, 2002. — 300 с.